



**Escola de Camins**  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

**Impacto del viento en la  
operatividad del puerto de  
Tarragona.  
Condiciones presentes y futuras**

Treball realitzat per:

**Cristina Viñes Milián**

Dirigit per:

**Octavio Cesar Möso Aranda**

Grau en:

**Enginyeria d'Obres Públiques**

Barcelona, 21 de Setembre de 2017

Departament d'enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

**TREBALL FINAL DE GRAU**

# Impacto del viento en la operatividad del puerto de Tarragona. Condiciones presentes y futuras

Cristina Viñes Milián  
Director: Octavio Cesar Möso Aranda  
Codirector: Juan Panlo Sierro Pedrico  
Codirector: Miguel Santa Rosa

Octubre 2017

Escolta Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports

UPC BARCELONATECH

### **Agradecimientos**

Primero que todo, quería agradecer a mi tutor, Cesar Möso, por haberme propuesto este estudio y por su implicación y ayuda durante todo el tiempo. Por último, también quiero agradecer a mi familia por su apoyo constante en todo momento y su confianza plena en mí.

## **Resumen**

En la actualidad, el cambio climático es un problema que afecta mucho al planeta. Hay diversos estudios realizados sobre como el cambio climático afecta al viento estudiando cómo puede afectar en un futuro.

En este trabajo se analizará el impacto del viento sobre la operatividad portuaria, en concreto en el puerto de Tarragona comparando situaciones presentes y futuras.

Para poder realizar el estudio se utilizan datos del viento modelados. Una vez se tienen los datos se deben analizar, mirando la dirección predominante del viento, los máximos valores de la velocidad anuales, los valores repetidos y el número de repeticiones. Una vez analizado los datos, se obtiene la probabilidad de excedencia de forma empírica y mediante el ajuste de Weibull para las dos situaciones y para climas medios y climas extremos.

Una vez realizados los cálculos anteriores, con los parámetros obtenidos se calcula los períodos de retorno.

Para calcular la inoperatividad se han utilizado directamente los datos del viento modelado y a partir de las limitaciones del viento para ciertas actividades que vienen regidas por la R.O.M se obtienen las horas de inoperatividad.

Al final, se llega a la conclusión que el cambio climático no afecta mucho a lo que el viento se refiere. Aunque sí que aumenta la inoperatividad no superan los límites recomendados.

## **Abstract**

Nowadays, climate change is a problem that is affecting the planet. There are several studies done on how climate change affects the wind studying how it can affect in a future situation

This work will analyze the impact of the wind on the port operation, specifically in the port of Tarragona comparing present and future situations.

Modeling wind data is used to perform the study. Once the data are given, it's time to analyse them by looking at the prevailing wind direction, the maximum annual velocity values, the repeated values and the number of repetitions of each. Once the data are analyzed, the probability of exceedance is obtained empirically and by the Weibull adjustment for the two situations and for average climates and extreme climates.

Once the previous calculations have been made, the return periods are calculated with the parameters obtained.

In order to calculate the inoperativity, the data of the modeled wind have been used directly and from the limitations of the wind for certain activities that are governed by the R.O.M, the hours of inoperability are obtained.

In the end, it is concluded that climate change does not affect much of what the wind refers to. Although it does increase inoperability do not exceed the recommended limits.

## Contenido

Lista de Figuras.....	6
Lista de tablas.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Contexto y motivación.....	8
1.2 Objetivos.....	8
1.3 Ideas generales .....	9
2. CAMBIO CLIMÁTICO.EFECTOS .....	10
2.1 Puertos.....	10
2.2 Cambio climático en un futuro .....	10
3. DESCRIPCIÓN DEL PUERTO .....	11
3.1 Localización.....	11
3.2 Características .....	12
3.3 Muelles y sus usos .....	13
4. METODOLOGÍA.....	15
4.1 Datos y repeticiones .....	15
4.2 Características de la dirección del viento.....	16
4.2.1 Rosas de Vientos.....	16
4.2.2 Tablas de encuentro.....	16
4.3 PROCESO – Clima medio y Clima extremo. Ajuste de distribución de Weibull. ....	17
4.3.1 Distribución de Weibull .....	17
4.3.2 Clima Medio.....	18
4.3.3 Clima Extremo .....	18
4.3.4 XLSTAT: Método de los Momentos y de Máxima verosimilitud.....	18
4.4 Operatividad y periodos de retorno.....	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	21
5.1 Datos y repeticiones .....	21
5.2 Características de la dirección del viento.....	22

5.2.1	Rosas de Vientos.....	23
5.2.2	Tablas de Encuentro .....	24
5.3	PROCESO – Clima medio y Clima extremo. Ajuste de distribución de Weibull. ....	29
5.4	Operatividad y periodos de retorno.....	32
5.5	Período de retorno.....	38
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	39
6.1	Conclusiones .....	39
6.2	Trabajo futuro .....	40
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	41

## Lista de Figuras

<i>Figura 1: Localización de Tarragona en la costa catalana .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2: Localización del Puerto de Tarragona.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3: Mapa conexiones mundiales.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4: Localización distintos muelles del puerto .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5: Comparativa de los valores de velocidad máxima anuales en la situación presente y la situación futura .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6: Rosa de Vientos situación presente.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7: Rosa de vientos situación futura .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8: Porcentajes según la velocidad del viento para la situación presente .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 9: Porcentajes según la dirección del viento para la situación presente</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10: Porcentajes según la velocidad del viento para la situación futura .</i>	<i>28</i>
<i>Figura 11: Porcentajes según la dirección del viento para la situación futura ..</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12: Probabilidad de no excedencia para clima medio situación presente .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 13: Probabilidad de no excedencia de clima extremo situación presente .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 14: Probabilidad de no excedencia clima medio situación futura .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 15: Probabilidad de no excedencia clima extremo situación futura.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 16: Gráficos operatividad según la velocidad límite .....</i>	<i>38</i>



## Lista de tablas

<i>Tabla 1: Direcciones del viento y grados.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2: Escala de Beaufort .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3: Condiciones límites de operación de buques en muelles y pantalanes .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4: Número de valores de velocidad para cada dirección en la situación presente .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 5: Número de valores de velocidad para cada dirección en la situación futura .....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6: Tabla encuentro situación presente con valores .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 7: Tabla encuentro situación presente con porcentajes .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 8: Tabla encuentro situación futura con valores .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 9: Tabla encuentro situación futura con porcentajes .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 10: Tablas de los valores de los parámetros según el método utilizado</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11: Horas anuales que el puerto se mantiene inoperativo según la actividad para situación presente .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 12: Horas anuales que el puerto se mantiene inoperativo según la actividad para situación futura.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 13: Períodos de retorno en la situación presente y futura .....</i>	<i>38</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Contexto y motivación

Los puertos son una parte muy importante en todos los países ya que gracias a ellos se permite exportar e importar mercancías necesarias para la sociedad a la par que necesarias para incrementar la economía y el prestigio del país.

El clima es un factor que incide en el desarrollo de la humanidad y el nivel de vida, por eso, en la actualidad, la sociedad está muy concienciada a cerca del cambio climático y cada vez se toman más medidas para reducir, o por lo menos, que no aumente el cambio climático.

Nosotros, las personas, somos los responsables de este cambio climático, pero también está en nuestras manos poder cambiar la situación aunque hay daños irreversibles, hay algunos que todavía se pueden arreglar.

Relacionando el cambio climático con el tema del estudio, éste puede afectar en los puertos aumentando su inoperatividad, eso significa pérdida de muchos servicios a causa de imposibilidad de importaciones, pero, aparte pérdida de servicios, también hay una pérdida importante en la economía causada por la no exportación, el mantenimiento de unos servicios y unas instalaciones que no están funcionando, entre otros.

Por eso el objetivo de este estudio es analizar las horas en las que el Puerto de Tarragona en concreto se mantiene inoperativo a causa de fuertes vientos que impiden la realización de ciertas actividades y determinar si el viento se ve muy afectado.

### 1.2 Objetivos

En este trabajo se analiza el impacto del viento en la operatividad del Puerto de Tarragona, haciendo una comparativa de la situación presente con situaciones futuras, claro está, que si las horas de inoperatividad aumentan entre las dos situaciones significará que el clima cambia y por lo tanto el cambio climático empeora.

La situación presente está compuesta por los años comprendidos entre 1986 y 2005, ambos incluidos y en la situación futura los años comprendidos son entre 2081 y 2100, ambos también incluidos.

El principal objetivo de este trabajo es analizar la influencia del viento en la operatividad del Puerto de Tarragona comparando las situaciones pasadas con las situaciones presentes y predecir cuáles pueden ser las situaciones futuras. Mediante los valores que establece la ROM para cada tipo de embarcación el valor del viento a partir del cual no se puede operar se hará una estima de las horas en las que el puerto permanece inactivo separado por

Impacto del viento en la operatividad del puerto de Tarragona. Condiciones presentes y futuras.

muelles y por tipos de embarcación. Con esto se podrá ver la importancia que tiene el viento para que un puerto pueda seguir su funcionamiento.

### 1.3 Ideas generales

Este estudio está dividido en 5 partes con el objetivo de explicar el procedimiento seguido para lograr los objetivos anteriormente mencionados.

En el capítulo 2 se hace una revisión de cómo puede afectar el clima en la operatividad de los puertos en general y se analiza el clima presente con el futuro.

En el capítulo 3 se describe la zona de estudio, la localización, las características del puerto y cómo está distribuido.

En el capítulo 4 se explica la metodología, es decir se hace una explicación detallada del proceso de cálculo para llegar al objetivo marcado del estudio que es saber las horas que el puerto se mantiene inactivo a causa de los fuertes vientos. Los resultados obtenidos en el capítulo 4 son mostrados en el capítulo 5 donde también son discutidos.

Por último, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones juntamente con posible trabajo futuro.

## 2. CAMBIO CLIMÁTICO.EFECTOS

### 2.1 Puertos

La estabilidad en las actividades de los Puertos es imprescindible para facilitar mercado de comercio y se considera que la interrupción del funcionamiento de un puerto es causada por el hombre.

Como se ha comentado en el capítulo anterior el clima afecta directamente a la operatividad de un puerto, por lo tanto el cambio climático agravia los problemas de operatividad debido a la acción del viento.

Los puertos han mostrado estos últimos años aumentos de tráfico por lo cual siempre hay proyectos de ampliaciones o modificaciones pendientes en los puertos. Pero para que salga rentable las inversiones hechas es necesario que su operatividad sea la máxima posible y que no por culpa del ser humano se puedan tener consecuencias terribles.

### 2.2 Cambio climático en un futuro

Diversos estudios estiman que el cambio climático irá aumentando en los próximos años y que a partir del año 2100, las fluctuaciones a largo plazo de la temperatura, las precipitaciones, los vientos y todos los demás componentes del clima producidos por el hombre perdurarán durante muchos siglos. En un futuro se prevé un aumento del cambio climático que afectará al aumento de la temperatura global media así como la subida del nivel del mar, causado, en parte por el deshielo de los glaciares. También se espera un aumento de las precipitaciones así como de sus variaciones anuales.

Respecto al viento, se prevé un aumento de la intensidad máxima de los vientos de ciclones tropicales, aunque estos estudios son a largo plazo lo que no significa que aumenten de un día al otro, todo tiene un proceso lento.

En las manos de los seres humanos está que este proceso sea muy lento o directamente, que no haya proceso y que el cambio climático se detenga. Pero hay un problema muy relevante en la actualidad y es el pensamiento, o mejor dicho no pensamiento que tiene la humanidad en utilizar todos los recursos que se tienen sin pensar en las consecuencias ya que la sociedad no es consciente de los daños que esto puede causar.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PUERTO

#### 3.1 Localización

Está localizado en la costa Catalana, concretamente en lo que se denomina “Costa Daurada” que pertenece a la costa sud de Cataluña, como está situado en la ciudad de Tarragona, capital de la provincia de Tarragona, sur de Cataluña.

El puerto de Tarragona está situado a una longitud de 1° 14' Este y una latitud de 41° 05' Norte



*Figura 1: Localización de Tarragona en la costa catalana*



*Figura 2: Localización del Puerto de Tarragona*

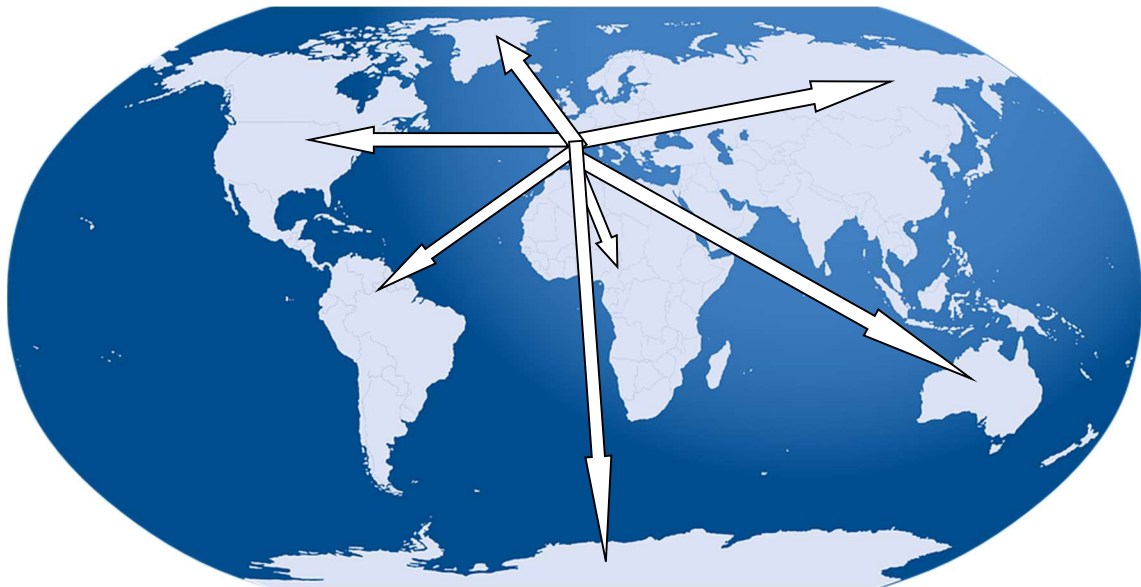
### 3.2 Características

Es un puerto pesquero, comercial, de pasajeros y deportivo, considerado como uno de los puertos marítimos más importantes de la costa mediterránea. Las actividades que se llevan a cabo en el puerto están relacionadas con el transporte industrial o de mercancías. Tiene mucha importancia en la industria química ya que cuenta con una plataforma específica para los barcos cargados de crudo y sus derivados, por lo tanto es un punto clave para la distribución de productos químicos, petrolíferos proporcionados por la industria química situada en Tarragona a unos 8 km aproximadamente del puerto y a unos 18 km de distancia del pantalán de Repsol.

El puerto tiene una dimensión total de 16.000.000 m<sup>2</sup>, de los cuales 42.500.000 m<sup>2</sup> son de agua, de estos últimos, 3.918.200 m<sup>2</sup> pertenecen a la parte interior del puerto. La parte terrestre ocupa 3.278.260 m<sup>2</sup> de los cuales 11.250 m<sup>2</sup> pertenecen a sus 97 atracaderos y muelles.

Cuenta con un canal de entrada con 250 m de anchura, una longitud de 1050 m y un calado de 20 m, situándolo como el puerto con mayor calado de toda España.

El puerto está situado en un punto estratégico donde las comunicaciones para importaciones y exportaciones son muy buenas como se puede ver en la siguiente figura:



*Figura 3: Mapa conexiones mundiales*



### 3.3 Muelles y sus usos

El puerto está dividido en 13 muelles, los cuales son:

- Muelle de Cantabria: cuenta con la instalación para la carga de ganado en barco desde camión, para ganado bovino y ovino, edificios de oficinas y terminal de vehículos.
- Muelle de Galicia: se utiliza para mercancía general y consta de vestuarios aseo personal, estación de bombeo, taller mecánico y parque móvil.
- Muelles de Andalucía: consta de puesto inspección fronteriza, PIA, escáner de contenedores y estación de bombeo.
- Muelle de la Química: Desde este muelle se controlan los accesos y está situada una báscula para camiones.
- Muelle de Castella: En este muelles están las oficinas Prevenport y Activa Mutúa, centro acreditaciones, báscula para camiones y taller mecánico.
- Muelle de Reus: controlan el acceso y se localizan almacenes frigoríficos y fábricas de hielo, oficinas policía y báscula para camiones
- Muelles de Pescadors: Es donde se encuentra la lonja, el almacén de cajas, el secadero de redes, almacenes o casetas armadores, pescadores y el almacén de preparación y embalado del pescado.
- Muelle de Costa: En este muelle están localizados almacenes frigoríficos y fábricas de hielo, vestuarios aseo personal, duchas y sanitarios, factoría ferrocarril, talleres de servicio de aguas y alumbrado, oficinas, tinglado nº4 (actividades y exposiciones), tinglado nº3 (oficinas y almacén), tinglado 1 y 2 (actividades y exposiciones), almacén 1 (actividades), almacén 2 (museo y actividades).
- Muelle de Llevant: Este muelle tiene el servicio del Port, zona d espera para pasajeros, edificio cruz roja, ducha y sanitaria, local social, y también control de accesos.
- Muelle de Lleida: Están situados oficinas y servicios y la torre de vigilancia.
- Muelle de Aragón: Consta de báscula para camiones, vestuarios aseo personal y almacén y también tiene una estación de bombeo.
- Muelle de Navarra: Tiene una báscula para camiones.
- Muelle de Catalunya: Se encuentra el Port Control, báscula para camiones y la planta clasificadora carbón.



*Figura 4: Localización distintos muelles del puerto*

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1- Muelle de Cantabria  | 8- Muelle de Costa      |
| 2- Muelle de Galicia    | 9- Muelle de Llevant    |
| 3- Muelle de Andalucía  | 10- Muelle de Lleida    |
| 4- Muelle de la Química | 11- Muelle de Aragò     |
| 5- Muelle de Castella   | 12- Muelle de Navarra   |
| 6- Muelle de Reus       | 13- Muelle de Catalunya |
| 7- Muelle de Pescador   |                         |



## 4. METODOLOGÍA

Para poder realizar los objetivos del trabajo, primero es necesario ordenar los datos obtenidos por el “*Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*” y clasificarlos en la situación presente que se considera el período de tiempo comprendido entre los años 1986 y 2005 ambos incluidos y en la situación futura que se considera el período de tiempo comprendido entre los años 2081 y 2100 ambos incluidos.

Una vez separadas estas dos situaciones, se define cuantas veces se repite cada valor del viento y clasificados para cada situación y ordenarlos en orden de mayor a menor repeticiones por valor.

El siguiente paso a realizar es clasificar cada módulo de la velocidad la dirección que tiene y contabilizar las direcciones predominantes para poder dibujar las rosas de vientos.

### 4.1 Datos y repeticiones

Los datos necesarios para la realización de esta tesis han sido dados por “*Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*”, como ya se ha dicho anteriormente, en este caso eran necesarias las velocidades, las cuales venían dadas en coordenada “x” y coordenada “y” considerando “x” positiva Este y “y” positiva norte, por lo tanto debe calcularse el módulo de la velocidad en la dirección también dada. Los datos del viento están tomados cada 3h ya que se considera que en una estimación de 3h los datos ya son lo suficientemente precisos.

A partir de todos los datos obtenidos por el Puerto de Tarragona, han sido seleccionado las columnas que interesaban las cuales eran: año, mes, día, hora, velocidad coordenada “x”, velocidad coordenada “y” y la dirección. Para el caso de la situación presente se han seleccionado los datos comprendidos entre los años 1860 y 2005 ambos incluidos y para el caso de la situación futura se han seleccionado los datos comprendidos entre los años 2081 y 2100.

Una vez separados los datos en las dos situaciones y seleccionado los que son de interés para los objetivos del proyecto, se filtran los valores repetidos y el número de repeticiones de cada uno de ellos para tener una idea de la tendencia de vientos que se producen en la zona.

También es muy interesante encontrar los valores de velocidad máximos anuales que serán muy útiles para cálculos próximos.

## 4.2 Características de la dirección del viento

### 4.2.1 Rosas de Vientos

Una vez identificados los datos necesarios y analizados, el siguiente paso es clasificar las direcciones del viento teniendo en cuenta que el sistema de coordenadas dado es “x” positivo para Este, “y” positivo para Norte, “x” negativa para Oeste y “y” negativo para Sur, se adjudica para cada valor de dirección el nombre de la dirección correspondiente en cada caso divididas entre: “N”, “N-NE”, “NE”, “E-NE”, “E”, “E-SE”, “SE”, “S-SE”, “S”, “S-SO”, “SO”, “O-SO”, “O”, “O-NO”, “NO”, “N-NO”. Cada dirección tiene un valor de 22,5° comprendiendo cada una los siguientes valores:

<b>SIGLAS DIRECCIÓN</b>	<b>GRADOS (°)</b>
<b>“N”</b>	348.75 - 11.25
<b>“N-NE”</b>	11.25 - 33.75
<b>“NE”</b>	33.75 - 56.25
<b>“E-NE”</b>	56.25 - 78.75
<b>“E”</b>	78.75 - 101.25
<b>“E-SE”</b>	101.25 - 123.75
<b>“SE”</b>	123.75 - 146.25
<b>“S-SE”</b>	146.25 - 168.75
<b>“S”</b>	168.75 - 191.25
<b>“S-SO”</b>	191.25 - 213.75
<b>“SO”</b>	213.75 - 236.25
<b>“O-SO”</b>	236.25 - 258.75
<b>“O”</b>	258.75 - 281.25
<b>“O-NO”</b>	281.25 - 303.75
<b>“NO”</b>	303.75 - 326.25
<b>“N-NO”</b>	326.25 - 348.75

*Tabla 1: Direcciones del viento y grados*

Una vez adjudicados los anteriores nombres para las distintas direcciones es el paso de construir la Rosa de Vientos. Utilizando el programa “Grapher”, se introducen todos los valores de las direcciones y poniendo los criterios que se quieran utilizar se dibuja la Rosa de Vientos, con la cual se puede observar las intensidades y las direcciones del viento del área de estudio para así tener una idea de la dirección de viento predominante y sus intensidades. En el siguiente apartado se podrán observar la Rosa de Vientos para la situación presente y la Rosa de Vientos para la situación futura y se hará la comparativa entre las dos.

### 4.2.2 Tablas de encuentro

Para realizar en profundidad el estudio de las direcciones del viento es necesario complementar las Rosas de Vientos con las tablas de encuentro donde aparecen el número de veces que se repite un valor que está comprendido entre un rango de velocidad según Escala de Beaufort y un rango de dirección, el último previamente establecido. Una vez hecha la tabla con los valores, a partir de ésta se hace la misma tabla pero con los porcentajes.

Para definir el rango de velocidades se utiliza la escala de Beaufort. La escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, la cual se trata de denominar con un número un rango de velocidades para facilitar así la clasificación del viento y su denominación. En la siguiente tabla se muestra los valores de la velocidad para cada número de Beaufort y su denominación:

<b>NÚMERO DE BEAUFORT</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO (km/h)</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
<b>0</b>	0 a 1	<b>Calma</b>
<b>1</b>	2 a 5	<b>Ventolina</b>
<b>2</b>	6 a 11	<b>Flojito</b>
<b>3</b>	12 a 19	<b>Flojo</b>
<b>4</b>	20 a 28	<b>Bonancible</b>
<b>5</b>	29 a 38	<b>Fresquito</b>
<b>6</b>	39 a 49	<b>Fresco</b>
<b>7</b>	50 a 61	<b>Frescachón</b>
<b>8</b>	62 a 74	<b>Temporal</b>
<b>9</b>	75 a 88	<b>Temporal fuerte</b>
<b>10</b>	89 a 102	<b>Temporal duro</b>
<b>11</b>	103 a 117	<b>Temporal muy duro</b>
<b>12</b>	+ 118	<b>Temporal huracanado</b>

*Tabla 2: Escala de Beaufort*

#### 4.3 PROCESO – Clima medio y Clima extremo. Ajuste de distribución de Weibull.

Una de las formas para obtener el período de retorno a partir de datos del viento es mediante el cálculo de clima extremo y clima medio con la distribución de Weibull, un método estadístico de probabilidad.

##### 4.3.1 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua y triparámetrica, es decir, está compuesta por tres parámetros:

- A: Parámetro de Centrado (localización del inicio de la gráfica), se calcula con la intersección de las velocidades máximas anuales y la columna de Yr y su valor ha de ser menor que el menor de los valores ajustados.
- B: Parámetro de Escala, calculado como la covarianza entre Yr y los valores de velocidad dividido entre la varianza de Yr y ha de ser mayor que 0.
- C: Parámetro de Forma y oscila entre 0,5 y 3,5.

Otros parámetros a tener en cuenta son la probabilidad de no excedencia,  $Y_r$  (variable reducida), donde:

$$P_{no\ exc} = 1 - e^{-\left(\frac{x-A}{B}\right)^c}$$

$$Y_r = \frac{x - A}{B}$$

Donde:

- X es el dato
- 
- A, B y C son los parámetros anteriormente descritos.

Por lo tanto, la probabilidad de no excedencia sería:

$$P_{no\ exc} = 1 - e^{-Y_r^c}$$

#### 4.3.2 Clima Medio

Para calcular el ajuste Weibull con  $Y_r$  empírica y la probabilidad de no excedencia empírica para clima medio, es necesario coger todos los valores diferentes del módulo de la velocidad y ordenarlos de mayor a menor. Una vez calculada la probabilidad de no excedencia y la  $Y_r$  para hacer el ajuste Weibull se debe utilizar el “solver” imponiendo que  $R^2$  sea máximo variando el parámetro C. El parámetro  $R^2$  es la relación entre  $Y_r$  y la velocidad. Como en el caso de clima medio se trata de una Weibull biparamétrica se debe imponer que el parámetro A debe ser igual a 0.

#### 4.3.3 Clima Extremo

En el caso del clima extremo, para calcular el ajuste Weibull con  $Y_r$  empírica y la probabilidad de no excedencia empírica sólo se deben tener en cuenta los valores máximos anuales y también ordenarlos de mayor a menor. Una vez calculada la probabilidad de no excedencia y la  $Y_r$  para hacer el ajuste Weibull se debe utilizar el “solver” imponiendo que  $R^2$  sea máximo variando el parámetro C, en este caso, al contrario del clima medio, se trata de una Weibull triparamétrica por lo tanto no se añade ninguna restricción.

#### 4.3.4 XLSTAT: Método de los Momentos y de Máxima verosimilitud

Una vez se han calculado la probabilidad de no excedencia y el ajuste Weibull, mediante el complemento de Excel XLSTAT comprobamos los resultados obtenidos anteriormente de los parámetros A, B y C con los obtenidos mediante XLSTAT que son calculados a través de dos métodos: el método de Momentos y el método de Máxima verosimilitud. Con el método de los Momentos es más común que se acerque a los resultados obtenidos empíricamente

#### 4.4 Operatividad y periodos de retorno

Los valores del módulo de la velocidad del viento que restringen la operatividad de un puerto vienen dados por las leyes ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) que se encuentran en las Recomendaciones de Puertos de Estado. En el caso del viento no es relevante la dirección de este para la operatividad ya que solo se tiene en cuenta el módulo del viento y se considera que sople de donde sople el viento, afectará igual a su operatividad.

	<b><u>Velocidad (m/s)</u></b>
<b><u>1.Atrake de buques</u></b>	
<b><i>Acciones en sentido longitudinal al muelle</i></b>	17,0
<b><i>Acciones en sentido transversal al muelle</i></b>	10,0
<b><u>2. Paralización operaciones carga y descarga ( para equipos convencionales)</u></b>	
<b><i>Acciones en sentido longitudinal al muelle</i></b>	
<b>Petroleros</b>	
< 30000 TPM	22,0
30000-200000 TPM	22,0
> 200000 TPM	22,0
<b>Graneleros</b>	
cargando	22,0
descargando	22,0
<b>Transportes de Gases Licuados</b>	
< 60000m3	22,0
> 60000m3	22,0
<b>Mercantes de carga general,Pesqueros de altura y congeladores</b>	22,0
<b>Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries</b>	22,0
<b>Transatlánticos y Cruceros (1)</b>	22,0
<b>Pesqueros de pesca fresca</b>	22,0
<b><i>Acciones en sentido transversal al muelle</i></b>	
<b>Petroleros</b>	
< 30000 TPM	20,0
30000-200000 TPM	20,0
> 200000 TPM	20,0
<b>Graneleros</b>	
cargando	22,0
descargando	22,0
<b>Transportes de Gases Licuados</b>	
< 60000m3	16,0
> 60000m3	16,0
<b>Mercantes de carga general,Pesqueros de altura y congeladores</b>	22,0
<b>Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries</b>	22,0

<b>Transatlánticos y Cruceros (1)</b>	22,0
<b>Pesqueros de pesca fresca</b>	22,0
<b><u>3. Permanencia de buques en muelle</u></b>	
<b>Petroleros y Transportadores de Gases Licuados</b>	
<b><i>Acciones en sentido longitudinal al muelle</i></b>	22,0
<b><i>Acciones en sentido transversal al muelle</i></b>	22,0
<b>Transatlánticos y Cruceros (2)</b>	
<b><i>Acciones en sentido longitudinal al muelle</i></b>	22,0
<b><i>Acciones en sentido transversal al muelle</i></b>	22,0
<b>Embarcaciones deportivas (2)</b>	
<b><i>Acciones en sentido longitudinal al muelle</i></b>	22,0
<b><i>Acciones en sentido transversal al muelle</i></b>	22,0

*Tabla 3: Condiciones límites de operación de buques en muelles y pantalanes*

Una vez se tienen los valores límite, con los valores numéricos de la velocidad obtenidos al principio se buscan los valores que sean iguales o mayores que las velocidades límite y el número de repeticiones de cada uno con las que se obtienen las horas en las que el puerto se mantendrá inoperativo para cada tipo de actividad. Como los datos están calculados cada 3 horas, por lo tanto, es necesario multiplicar el resultado por 3 para obtener las horas reales al año.

Por otro lado, el período de retorno, muy importante en la hidrología, es, por definición el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos, es decir, el tiempo que tarda en ocurrir un suceso determinado y es calculado en años. El período de retorno ( $T_R$ ) se considera como:

$$T_R = \frac{1}{1 - P_{exc}}$$

Probabilidad de excedencia:

$$P_{exc} = \frac{m}{n + 1}$$

Donde:

- m:rango
- n: número de valores

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado se muestran y se discuten los resultados obtenidos siguiendo la metodología previamente explicada en el apartado 4. Asimismo se han añadido imágenes y tablas con la intención de clarificar la visión de los resultados.

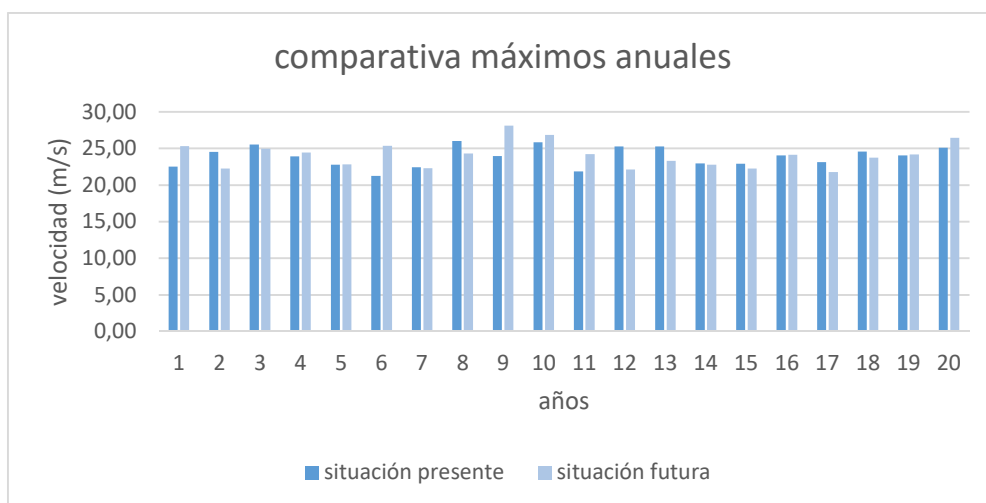
### 5.1 Datos y repeticiones

Para analizar los datos que se tienen se empieza por definir los valores diferentes, cuántos hay y cuáles son los más repetidos.

A continuación se analiza separando la situación presente y la situación futura:

- En la situación presente se han obtenido 2265 valores diferentes teniendo 58440 valores totales significa que un 3,88% se repiten. De los valores diferentes, los que más se repiten, sus velocidades oscilan entre 1m/s y 5m/s.
- En la situación futura se han obtenido 2291 valores diferentes teniendo 58432 valores totales significa que un 3,92% se repiten. De los valores diferentes, los que más se repiten, sus velocidades oscilan entre 1m/s y 5m/s.

A continuación, la figura siguiente muestra las velocidades máximas anuales de la situación presente y de la futura. Los números del eje de abscisas corresponden a el orden de años de la situación presente y la futura siendo 1 para 1986 en el caso de la situación presente y 2801 en caso de la futura, 2 para 1987 en el caso de la situación presente y 2082 en caso de la futura y así continuadamente hasta llegar al último año de los dos periodos de tiempo.



*Figura 5: Comparativa de los valores de velocidad máxima anuales en la situación presente y la situación futura*

## 5.2 Características de la dirección del viento

En esta parte se muestran las tablas referentes al número de valores de la velocidad del viento que hay asociado a cada dirección del viento. Marcados con distintas tonalidades de rojo están las direcciones más predominantes, degradando de rojo más fuerte las direcciones que más valores tienen a menos fuerte, las que menos valores tienen observando que en los dos casos la dirección que más valores tiene es la Oeste

### Situación presente

N	10074
N-NE	4835
NE	762
E-NE	463
E	507
E-SE	669
SE	408
S-SE	299
S	239
S-SO	288
SO	490
O-SO	4750
O	12095
O-NO	10996
NO	6723
N-NO	4842

*Tabla 4: Número de valores de velocidad para cada dirección en la situación presente*

### Situación futura

N	7852
N-NE	3782
NE	546
E-NE	310
E	377
E-SE	499
SE	330
S-SE	205
S	113
S-SO	148
SO	315
O-SO	4821
O	14196
O-NO	13403
NO	7138
N-NO	4397

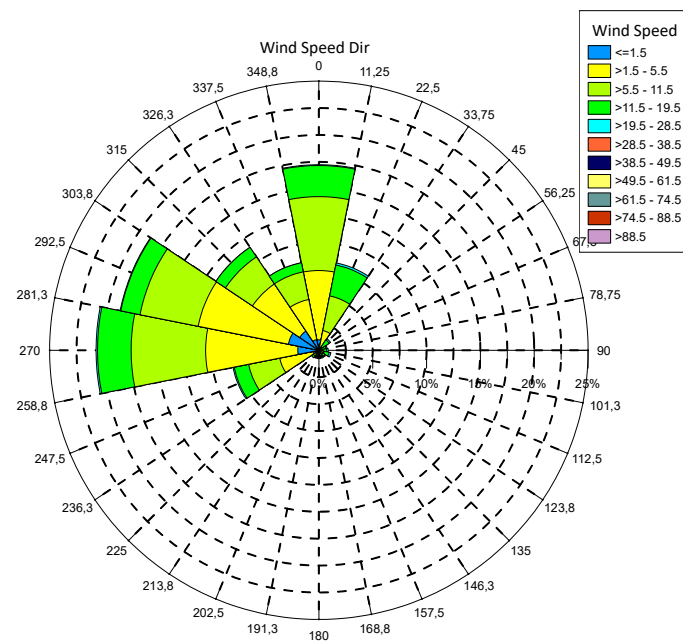
*Tabla 5: Número de valores de velocidad para cada dirección en la situación futura*



### 5.2.1 Rosas de Vientos

En las siguientes figuras se pueden ver las Rosas de Vientos para situación presente y futura, las dos acompañadas de una leyenda en donde se relaciona el color que aparece con la velocidad del viento que los valores que definen los intervalos de las velocidades viene regido por la Escala de Beaufort anteriormente explicada.

En la Rosa de Vientos de la situación se observa que la dirección de viento predominante está entre el Norte y el Oeste aunque las velocidades no llegan a ser muy elevadas. En el Oeste, las velocidades máximas estarían entre 19,5 y 28,5 m/s<sup>2</sup> aunque no es muy común ya que apenas se aprecia.



*Figura 6: Rosa de Vientos situación presente*

En el otro caso, en la Rosa de Vientos de la situación se observa que la dirección de viento predominante también está entre el Norte y el Oeste llegando, en el caso del Oeste a velocidades entre 19,5 y 28,5 m/s<sup>2</sup>.

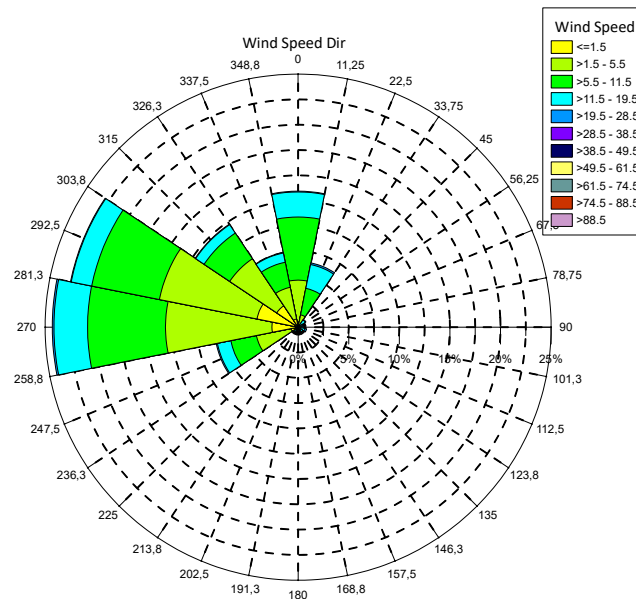


Figura 7: Rosa de vientos situación futura

Comparando las dos situaciones, los resultados son bastante similares en cuanto a dirección predominante y velocidad del viento máximas como se ha visto anteriormente..

### 5.2.2 Tablas de Encuentro

En esta parte, se muestran las tablas de encuentro para la situación presente y la situación futura, teniendo dos de cada situación, una son el número de repeticiones y la otra es el porcentaje.

En la columna de la izquierda están las velocidades según la Escala de Beaufort pero pasadas a m/s y en la fila de arriba están las direcciones. La columna que está pintada de amarillo es la suma de toda la fila en su mismo nivel, y la fila que está de verde es la suma de toda la columna que queda encima. Por ejemplo en el primer valor de la fila verde es la suma de todos los valores que tienen una dirección Norte y en el primer valor de la columna pintada de amarillo es el número de valores que hay para una velocidad mayor que 28,47m/s.

Todas las columnas y todas las filas excepto la primera fila y la última columna de valores están calculadas igual buscando el número de valores que hay comprendidos entre dos velocidades y entre dos direcciones. En cambio, la primera fila sólo se debe poner, en cuanto a la velocidad que sea mayor a la anterior y no comprendida entre dos e igual pasa con la última columna respecto la dirección.

Es muy importante comprobar que los resultados de la fila verde sea el mismo que los resultados obtenidos en las Tablas 5.2.1 y 5.2.2 y que tanto estos resultados como los anteriores de este mismo capítulo sean los mismos ya que se analiza lo mismo, la dirección de la velocidad del viento, pero utilizando distintos métodos.

Impacto del viento en la operatividad del puerto de Tarragona. Condiciones presentes y futuras.

**Situación presente**

Dir Vel (m/s)	N	N-NE	NE	E-NE	E	E-SE	SE	S-SE	S	S-SO	SO	O-SO	O	O-NO	NO	N-NO		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
28,47	2	0	1	1	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
24,58	18	44	34	23	51	46	11	7	4	2	6	33	36	9	4	8	336	
20,69	229	383	177	141	111	134	27	23	17	15	24	170	283	122	78	67	2001	
17,08	699	756	195	111	125	126	60	38	26	26	61	341	740	379	212	200	4095	
13,75	1034	732	120	60	82	77	53	44	34	32	48	398	1109	756	438	334	5351	
10,97	1693	878	90	46	45	113	98	66	50	75	97	648	1571	1260	692	544	7966	
8,19	2184	930	67	44	48	79	75	64	56	81	115	1018	2275	1909	1035	929	10909	
5,42	2156	672	48	24	29	58	57	34	36	36	88	1016	2654	2355	1397	1153	11813	
3,19	1465	344	22	12	11	27	20	18	12	17	38	780	2221	2512	1603	995	10097	
1,53	550	93	8	1	1	4	4	3	4	3	12	322	1116	1556	1144	563	5384	
0,42	45	1	0	0	0	0	3	2	0	1	1	25	91	138	120	48	475	
0,00	58440	10075	4833	762	463	507	669	408	299	239	288	490	4751	12096	10996	6723	4841	58440

Tabla 6: Tabla encuentro situación presente con valores

Dir Vel (m/s)																		
	N	N-NE	NE	E-NE	E	E-SE	SE	S-SE	S	S-SO	SO	O-SO	O	O-NO	NO	N-NO		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
28,47																	0,02	
24,58	0,03	0,08	0,06	0,04	0,09	0,08	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,06	0,06	0,02	0,01	0,01	0,57	
20,69	0,39	0,66	0,30	0,24	0,19	0,23	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,29	0,48	0,21	0,13	0,11	3,42	
17,08	1,20	1,29	0,33	0,19	0,21	0,22	0,10	0,07	0,04	0,04	0,10	0,58	1,27	0,65	0,36	0,34	7,01	
13,75	1,77	1,25	0,21	0,10	0,14	0,13	0,09	0,08	0,06	0,05	0,08	0,68	1,90	1,29	0,75	0,57	9,16	
10,97	2,90	1,50	0,15	0,08	0,08	0,19	0,17	0,11	0,09	0,13	0,17	1,11	2,69	2,16	1,18	0,93	13,63	
8,19	3,74	1,59	0,11	0,08	0,08	0,14	0,13	0,11	0,10	0,14	0,20	1,74	3,89	3,27	1,77	1,59	18,67	
5,42	3,69	1,15	0,08	0,04	0,05	0,10	0,10	0,06	0,06	0,06	0,15	1,74	4,54	4,03	2,39	1,97	20,21	
3,19	2,51	0,59	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,07	1,33	3,80	4,30	2,74	1,70	17,28	
1,53	0,94	0,16	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,55	1,91	2,66	1,96	0,96	9,21	
0,42	0,08	0,00					0,01	0,00		0,00	0,00	0,04	0,16	0,24	0,21	0,08	0,81	
0,00	100	17,24	8,27	1,30	0,79	0,87	1,14	0,70	0,51	0,41	0,49	0,84	8,13	20,70	18,82	11,50	8,28	100

Tabla 7: Tabla encuentro situación presente con porcentajes

### Situación futura

Dir Vel (m/s)																		
	N	N-NE	NE	E-NE	E	E-SE	SE	S-SE	S	S-SO	SO	O-SO	O	O-NO	NO	N-NO		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
28,47	0	1	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	14	
24,58	17	39	18	25	39	56	11	10	6	10	11	27	41	18	10	7	345	
20,69	177	306	150	100	121	119	46	26	9	15	24	168	307	170	78	81	1897	
17,08	589	587	169	89	97	115	53	27	22	26	47	326	719	439	216	199	3720	
13,75	962	675	84	38	51	74	59	35	12	15	40	414	1255	870	404	364	5352	
10,97	1531	753	58	19	38	68	79	37	19	34	57	583	1866	1625	671	616	8054	
8,19	1909	702	40	20	14	28	60	40	28	24	67	874	2446	2212	1060	796	10320	
5,42	1499	448	22	13	10	23	16	26	11	16	36	1062	3063	2641	1487	972	11345	
3,19	851	191	4	2	3	13	6	4	4	7	26	936	2926	2951	1687	850	10461	
1,53	288	64	1	0	0	1	0	0	2	1	7	400	1451	2228	1397	475	6315	
0,42	30	12	0	0	1	1	0	0	0	0	0	33	119	244	124	38	602	
0,00	58425	7853	3778	546	310	377	499	330	205	113	148	315	4823	14195	13400	7135	4398	58425

Tabla 8: Tabla encuentro situación futura con valores

Dir Vel (m/s)	N 1	N-NE 2	NE 3	E-NE 4	E 5	E-SE 6	SE 7	S-SE 8	S 9	S-SO 10	SO 11	O-SO 12	O 13	O-NO 14	NO 15	N-NO 16	
28,47	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
24,58	0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,10	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07	0,03	0,02	0,01	0,59
20,69	0,30	0,52	0,26	0,17	0,21	0,20	0,08	0,04	0,02	0,03	0,04	0,29	0,53	0,29	0,13	0,14	3,25
17,08	1,01	1,00	0,29	0,15	0,17	0,20	0,09	0,05	0,04	0,04	0,08	0,56	1,23	0,75	0,37	0,34	6,37
13,75	1,65	1,16	0,14	0,07	0,09	0,13	0,10	0,06	0,02	0,03	0,07	0,71	2,15	1,49	0,69	0,62	9,16
10,97	2,62	1,29	0,10	0,03	0,07	0,12	0,14	0,06	0,03	0,06	0,10	1,00	3,19	2,78	1,15	1,05	13,79
8,19	3,27	1,20	0,07	0,03	0,02	0,05	0,10	0,07	0,05	0,04	0,11	1,50	4,19	3,79	1,81	1,36	17,66
5,42	2,57	0,77	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,06	1,82	5,24	4,52	2,55	1,66	19,42
3,19	1,46	0,33	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	1,60	5,01	5,05	2,89	1,45	17,91
1,53	0,49	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,68	2,48	3,81	2,39	0,81	10,81
0,42	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,20	0,42	0,21	0,07	1,03
100	13,44	6,47	0,93	0,53	0,65	0,85	0,56	0,35	0,19	0,25	0,54	8,26	24,30	22,94	12,21	7,53	100

Tabla 9: Tabla encuentro situación futura con porcentajes

Seguidamente se muestran dos gráficos para acompañar las tablas de encuentro anteriores que facilita la visualización de los resultados. Solo aparecen los gráficos de los porcentajes para cada situación, uno con los porcentajes de la dirección y el otro con los de la velocidad del viento donde el eje de abscisas corresponde al rango de valores y el eje de ordenadas al valor del porcentaje:

### Situación presente

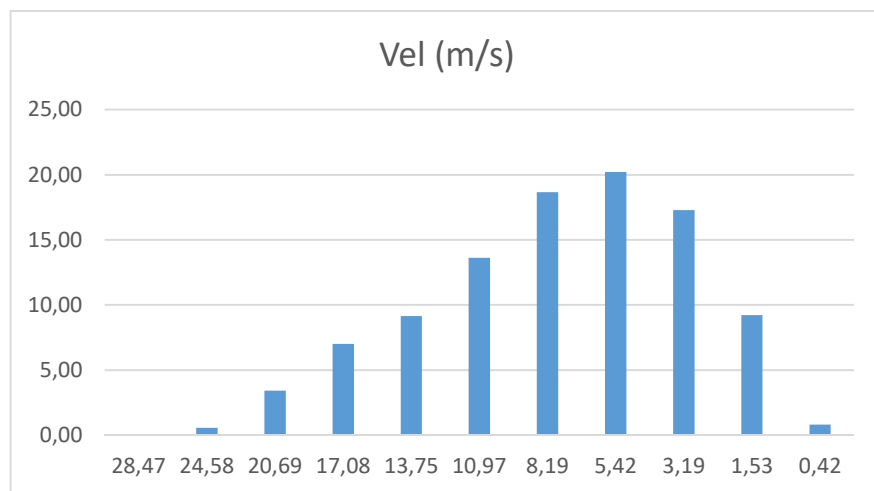


Figura 8: Porcentajes según la velocidad del viento para la situación presente

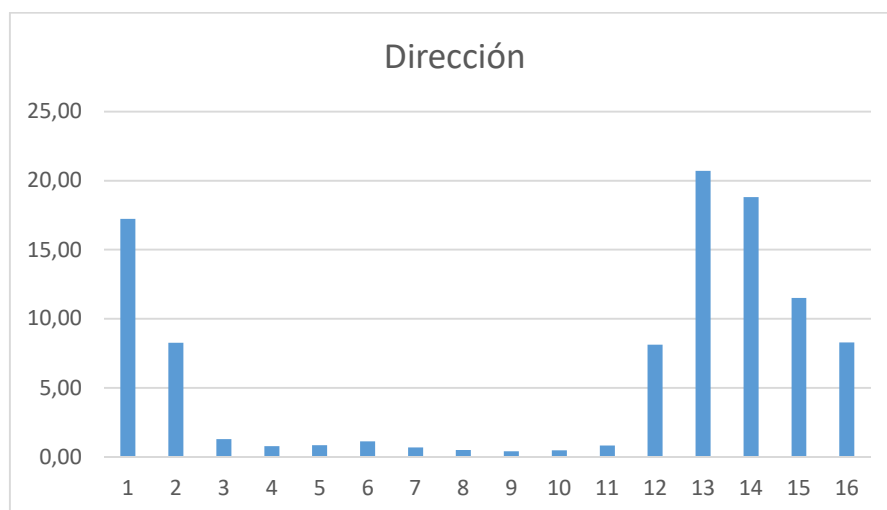


Figura 9: Porcentajes según la dirección del viento para la situación presente

### Situación futura

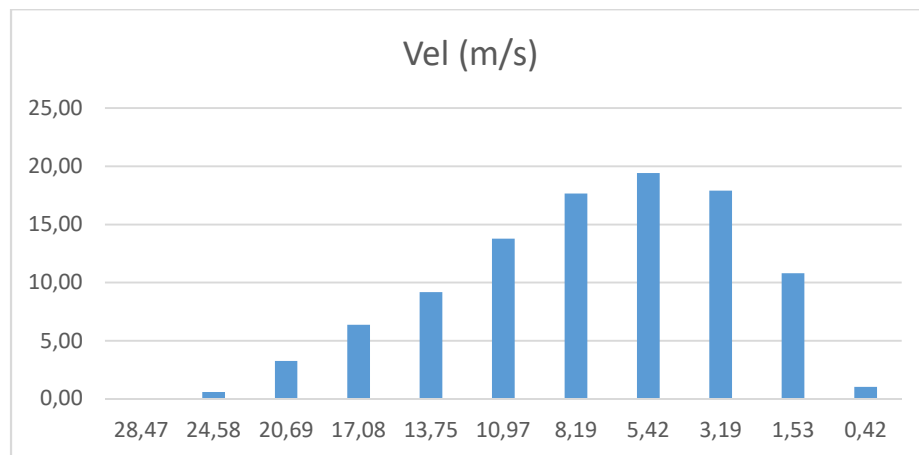


Figura 10: Porcentajes según la velocidad del viento para la situación futura

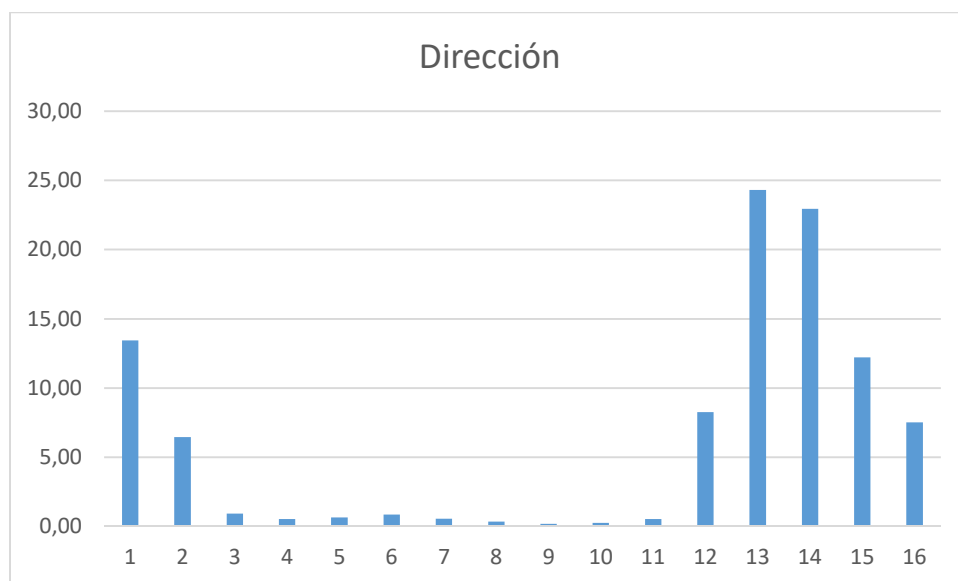


Figura 11: Porcentajes según la dirección del viento para la situación futura

En las figuras anteriores, se puede observar también que los resultados de las dos situaciones son muy similares como se ha visto hasta ahora.

### 5.3 PROCESO – Clima medio y Clima extremo. Ajuste de distribución de Weibull.

En los siguientes gráficos aparecen la probabilidad de no excedencia empírica y el ajuste de Weibull dentro del mismo para poder hacer la comparación y ver si el ajuste es bueno.

En el eje de ordenadas se encuentra el valor de la velocidad del viento y en el eje de abscisas la probabilidad de no excedencia que oscila entre 0 y 1.

En todos los casos el ajuste ha sido muy bueno como se puede observar.

En el caso del clima extremo, la razón por la cual no empieza en 0 es porque el parámetro A que es el parámetro de centrado no es 0 como ocurre en el clima medio.

#### Clima medio situacion presente

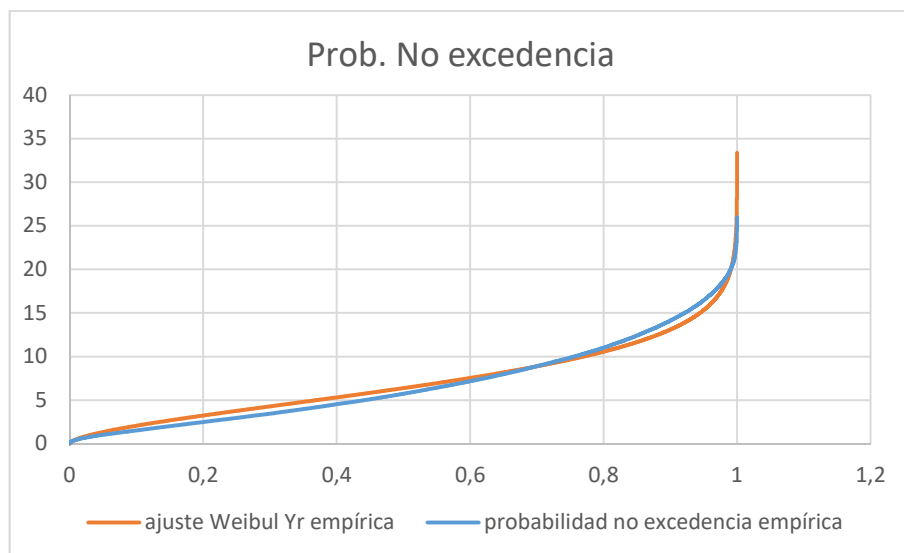


Figura 12: Probabilidad de no excedencia para clima medio situación presente

### Clima extremo situacion presente

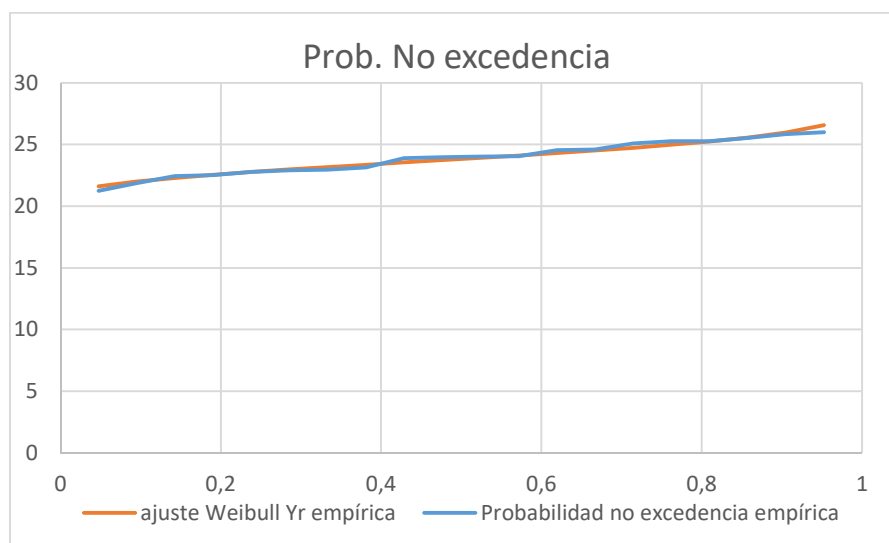


Figura 13: Probabilidad de no excedencia de clima extremo situación presente

### Clima medio situacion futura

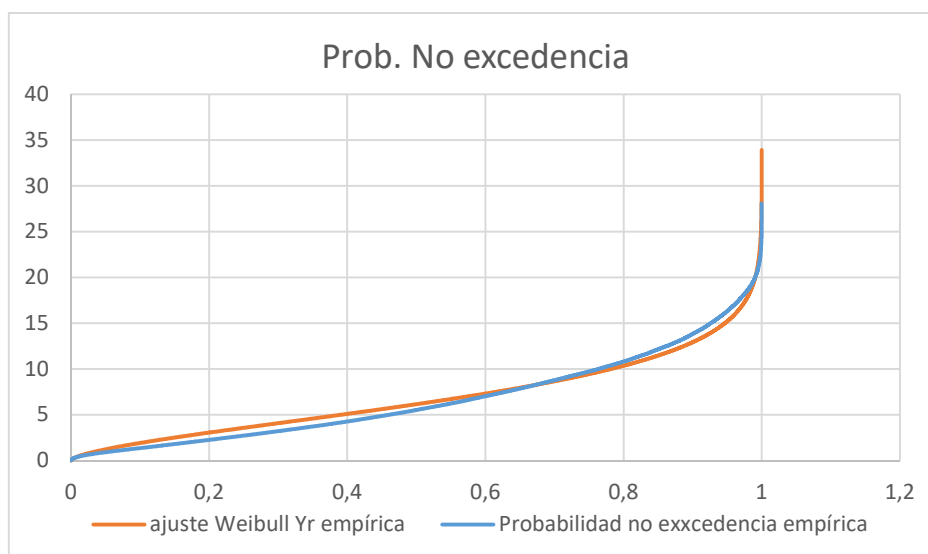


Figura 14: Probabilidad de no excedencia clima medio situación futura



### Clima extremo situacion futura

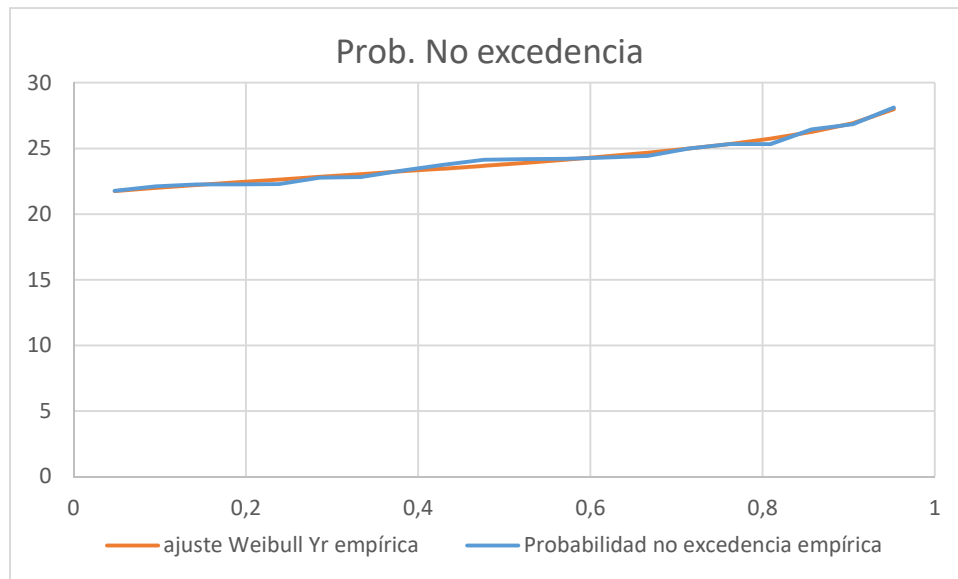


Figura 15: Probabilidad de no excedencia clima extremo situación futura

### PARÁMETROS FORMA EMPÍRICA Y XLSTAT

A continuación están expuestas las tablas dónde aparecen los valores de los tres parámetros calculados con los tres métodos diferentes: mediante el ajuste Weibull de forma empírica y utilizando el programa XLSTAT, los otros dos métodos que son el de los Momentos y el de Máximo verosimilitud.

#### Clima medio situación presente

Método	A	B	C
Forma empírica	0,00	7,94	1,67
Momentos	0,00	7,669	1,60
Máxima verosimilitud	0,00	7,581	1,436

#### Clima extremo situación presente

Método	A	B	C
Forma empírica	20,43	3,93	2,50
Momentos	21,236	3,083	2,300
Máxima verosimilitud	16,668	7,851	6,487

### Clima medio situación futura

Método	A	B	C
Forma empírica	0,00	7,73	1,62
Momentos	0,00	7,47	1,60
Máxima verosimilitud	0,00	7,34	1,38

### Clima extremo situación futura

Método	A	B	C
Forma empírica	21,32	3,15	1,49
Momentos	21,77	2,44	1,33
Máxima verosimilitud	21,46	2,85	1,45

Tabla 10: Tablas de los valores de los parámetros según el método utilizado

## 5.4 Operatividad y periodos de retorno

En las siguientes tablas se reflejan las horas anuales en las que el puerto no se mantiene operativo según la actividad que se realice. Las actividades están situadas en la columna de la izquierda y en la fila de arriba están localizados los años.

Las distintas actividades son:

- 1: Atraque de buques:
  - 1A: Acciones en sentido longitudinal al muelle, 17m/s.
  - 1B: Acciones en sentido transversal al muelle, 10m/s.
- 2: Paralizaciónh operaciones carga y descarga (para equipos conveccionales):
  - 2A: Petroleros <30000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2B: Petroleros entre 30000-200000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2C: Petroleros >200000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2D: Graneleros cargando (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2E: Graneleros descargando (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2F: Transportes de gases licuados <60000m<sup>3</sup> (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2G: Transportes de gases licuados >60000m<sup>3</sup> (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 2H: Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congelados (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.

- 2I: Portacontenedores, Ro-Ros y ferris (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2J: Transatlánticos y cruceros (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2K: Pesqueros de pesca fresca (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2L: Petroleros <30000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 20m/s.
- 2M: Petroleros entre 30000-200000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 20m/s.
- 2N: Petroleros >200000 TPM (sentido longitudinal al muelle), 20m/s.
- 2O: Graneleros cargando (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2P: Graneleros descargando (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2Q: Transportes de gases licuados <60000m<sup>3</sup> (sentido longitudinal al muelle), 16m/s.
- 2R: Transportes de gases licuados >60000m<sup>3</sup> (sentido longitudinal al muelle), 16m/s.
- 2S: Mercantes de carga general, pesqueros de altura y congelados (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2T: Portacontenedores, Ro-Ros y ferris (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2U: Transatlánticos y cruceros (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 2V: Pesqueros de pesca fresca (sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
- 3: Permanencia de buques en muelle:
  - 3A: Petroleros y transportadores de gases licuados (acciones en sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 3B: Petroleros y transportadores de gases licuados (acciones en sentido transversal al muelle), 22m/s.
  - 3C: Transatlánticos y Cruceros (acciones en sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 3D: Transatlánticos y Cruceros (acciones en sentido transversal al muelle), 22m/s.
  - 3E: Embarcaciones deportivas (acciones en sentido longitudinal al muelle), 22m/s.
  - 3F: Embarcaciones deportivas (acciones en sentido transversal al muelle), 22m/s.

### Situación presente

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
<b>1A</b>	366	420	462	435	309	447	204	468	441	363
<b>1B</b>	2307	2046	2043	2379	1872	2094	1902	2025	2475	2304
<b>2A</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2B</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2C</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2D</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2E</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2F</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2G</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2H</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2I</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2J</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2K</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2L</b>	63	99	174	111	99	39	39	147	126	99
<b>2M</b>	63	99	174	111	99	39	39	147	126	99
<b>2N</b>	63	99	174	111	99	39	39	147	126	99
<b>2O</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2P</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2Q</b>	507	579	573	585	447	582	330	594	588	507
<b>2R</b>	507	579	573	585	447	582	330	594	588	507
<b>2S</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2T</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2U</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>2V</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3A</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3B</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3C</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3D</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3E</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30
<b>3F</b>	9	36	54	42	12	0	3	30	27	30

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>1A</b>	462	297	486	231	267	153	384	342	375	369
<b>1B</b>	2268	2085	2322	1677	2331	1725	2382	2133	2340	2136
<b>2A</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2B</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2C</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2D</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2E</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2F</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2G</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33

Impacto del viento en la operatividad del puerto de Tarragona. Condiciones presentes y futuras.

<b>2H</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2I</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2J</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2K</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2L</b>	81	57	147	48	39	48	66	60	69	99
<b>2M</b>	81	57	147	48	39	48	66	60	69	99
<b>2N</b>	81	57	147	48	39	48	66	60	69	99
<b>2O</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2P</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2Q</b>	633	477	696	327	426	255	588	504	543	471
<b>2R</b>	633	477	696	327	426	255	588	504	543	471
<b>2S</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2T</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2U</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>2V</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3A</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3B</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3C</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3D</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3E</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33
<b>3F</b>	0	24	18	6	12	30	18	6	9	33

*Tabla 11: Horas anuales que el puerto se mantiene inoperativo según la actividad para situación presente*

**Situación futura**

	<b>2081</b>	<b>2082</b>	<b>2083</b>	<b>2084</b>	<b>2085</b>	<b>2086</b>	<b>2087</b>	<b>2088</b>	<b>2089</b>	<b>2090</b>
<b>1A</b>	285	252	414	282	381	276	438	372	348	378
<b>1B</b>	2115	1896	2292	2112	2364	2097	2064	2268	2100	2238
<b>2A</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2B</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2C</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2D</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2E</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2F</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2G</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2H</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2I</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2J</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2K</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2L</b>	69	39	99	36	84	54	87	57	114	99
<b>2M</b>	69	39	99	36	84	54	87	57	114	99
<b>2N</b>	69	39	99	36	84	54	87	57	114	99
<b>2O</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2P</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33

Impacto del viento en la operatividad del puerto de Tarragona. Condiciones presentes y futuras.

<b>2Q</b>	426	390	570	414	555	390	540	558	492	555
<b>2R</b>	426	390	570	414	555	390	540	558	492	555
<b>2S</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2T</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2U</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>2V</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3A</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3B</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3C</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3D</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3E</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33
<b>3F</b>	24	3	21	9	6	12	9	30	45	33

	<b>2091</b>	<b>2092</b>	<b>2093</b>	<b>2094</b>	<b>2095</b>	<b>2096</b>	<b>2097</b>	<b>2098</b>	<b>2099</b>	<b>2100</b>
<b>1A</b>	333	339	324	420	201	330	243	564	459	366
<b>1B</b>	2136	1878	1980	1950	1875	1962	2115	2340	2085	1737
<b>2A</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2B</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2C</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2D</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2E</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2F</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2G</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2H</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2I</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2J</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2K</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2L</b>	117	57	57	90	45	90	45	171	153	117
<b>2M</b>	117	57	57	90	45	90	45	171	153	117
<b>2N</b>	117	57	57	90	45	90	45	171	153	117
<b>2O</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2P</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2Q</b>	456	456	459	555	309	456	387	711	612	459
<b>2R</b>	456	456	459	555	309	456	387	711	612	459
<b>2S</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2T</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2U</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>2V</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3A</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3B</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3C</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3D</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3E</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33
<b>3F</b>	27	3	12	9	6	27	0	63	81	33

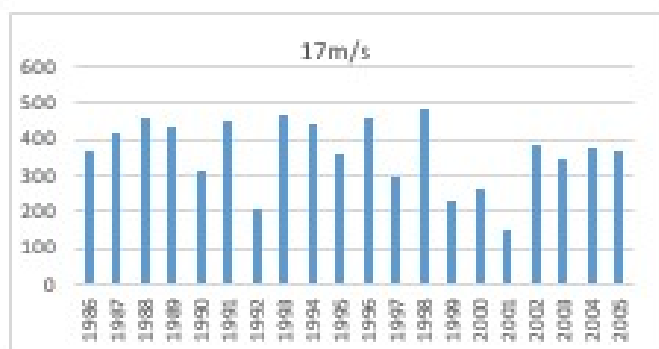
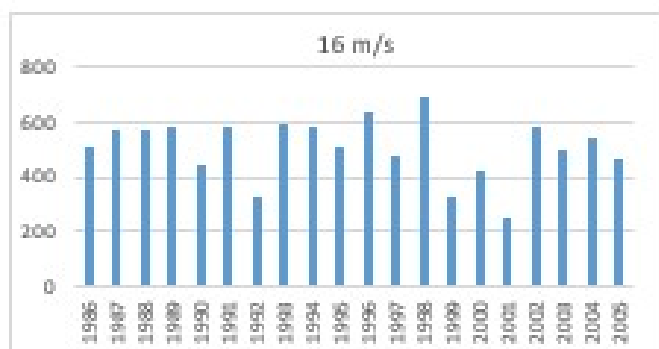
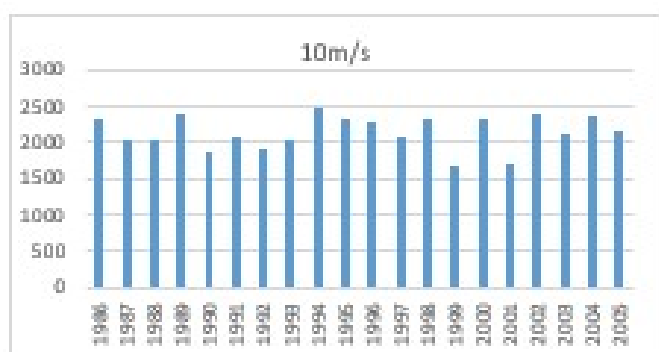
*Tabla 12: Horas anuales que el puerto se mantiene inoperativo según la actividad para situación futura*

A continuación se muestran las siguientes figuras con los gráficos que representan las horas que el puerto se mantiene inoperativo al año para cada tipo de actividad siendo el eje de las abscisas los años y el eje de las ordenadas las horas.

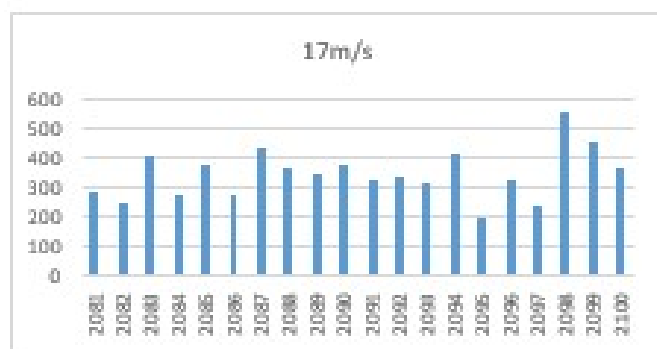
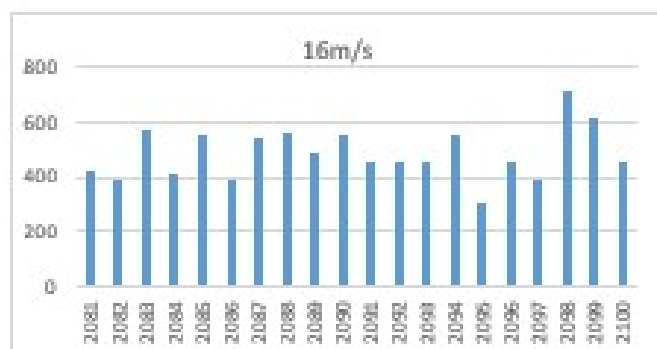
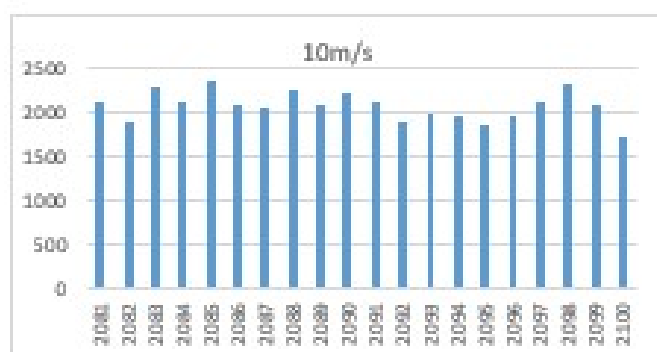
Los títulos de los gráficos son las velocidades límite y que en la Tabla 4.4 se puede ver a qué actividades están relacionadas.

Observando la operatividad entre las dos situaciones, en el caso que el puerto esté totalmente inoperativo, el referente a velocidades iguales o mayores que 22m/s, el año en el que está más tiempo inoperativo es en el año 2099 (situación futura) con un total de 81 horas anuales.

### Situación presente



### Situación futura



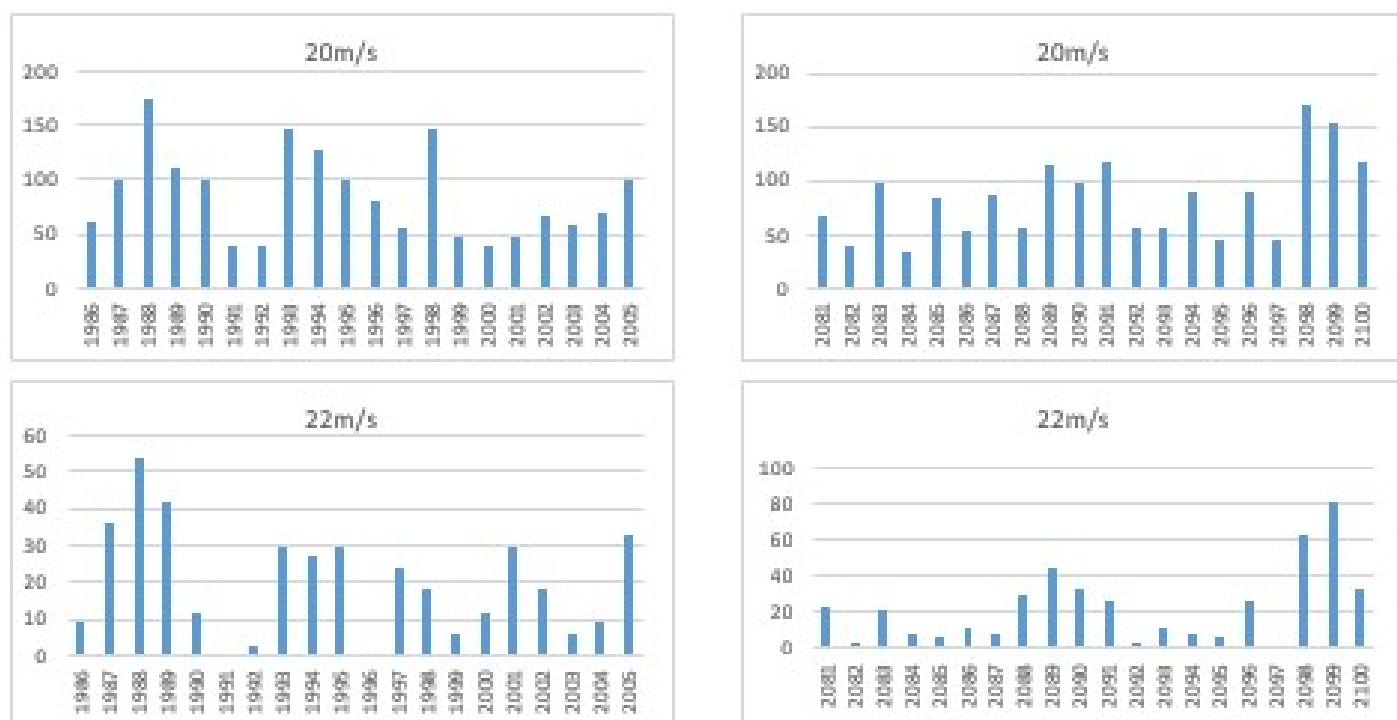


Figura 16: Gráficos operatividad según la velocidad límite

## 5.5 Período de retorno

En las siguientes tablas están calculados los períodos de Retorno mediante el ajuste de Weibull, teniendo el período de retorno y previamente calculado yr, se calcula la velocidad asociada a cada período de retorno observando que es ligeramente superior en la situación futura.

Situación presente			Situación Futura		
yr	TR	Vel (TR)	yr	TR	Vel (TR)
0,000	1	20,43	0,000	1	21,32
1,210	5	25,19	1,377	5	25,67
1,396	10	25,92	1,751	10	26,85
1,596	25	26,71	2,193	25	28,24
1,674	37,5	27,01	2,375	37,5	28,82
1,726	50	27,22	2,500	50	29,21
1,795	75	27,49	2,672	75	29,75
1,842	100	27,68	2,790	100	30,12
1,948	200	28,09	3,065	200	30,99
2,007	300	28,32	3,221	300	31,48
2,077	500	28,60	3,412	500	32,09
2,166	1000	28,95	3,663	1000	32,88

Tabla 13: Períodos de retorno en la situación presente y futura



## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

### 6.1 Conclusiones

En esta parte para que las conclusiones sean más claras, se divide en cuatro partes que son las que definen el estudio.

#### **Datos y repeticiones**

- Referente a las velocidades máximas anuales comparadas en la situación presente y la situación futura no hay gran variación de velocidades respecto las dos situaciones, por lo tanto, el viento no es un aspecto que varíe a causa del cambio climático.

#### **Características de la dirección del viento**

- La dirección de viento predominante obtenida ha sido totalmente la esperada ya que en la memoria del puerto de Tarragona está detallado que la dirección predominante del viento es la Nord-Oeste.
- Las tablas de encuentro que siguen las Rosas de los Vientos los resultados también han sido los esperados respecto a la dirección.
- Con respecto a la velocidad se observa que tanto en la situación presente como en la futura el rango de velocidad donde hay mayor número de valores es el mismo.

#### **Proceso- clima medio y clima extremo. Ajuste de distribución de Weibull**

- El cálculo de los parámetros por el método de Momentos es más aproximado al del calculado mediante el ajuste de Weibull, se cumple en todas las situaciones excepto en el Clima extremo de la situación futura donde se asemeja más el método de la Máxima verosimilitud.
- Para los casos de clima extremo, el parámetro A es muy parecido al valor de la máxima velocidad del viento, por lo tanto, se tiene que mirar que sea un resultado razonable comparado con el valor de la velocidad máxima.

## Operatividad y periodos de retorno

- Con los datos de la velocidad del viento iniciales ya se obtiene una aproximación de las horas de inoperatividad del puerto
- Como se ha comentado en el capítulo 5.4, la operatividad disminuye en la situación futura respecto la situación presente, por lo tanto, aunque en las partes anteriores los valores daban muy parejos entre las dos situaciones es aquí donde se observa que realmente en la situación futura hay más frecuencia de valores donde la velocidad del viento es más elevada.
- También se puede observar lo anteriormente comentado en la parte del período de retorno, ya que para el mismo período de años en la situación futura se tienen velocidades más elevadas.

## 6.2 Trabajo futuro

El objetivo de este apartado es reflexionar sobre el trabajo realizado, buscar posibles mejoras y posibles continuaciones que se hubieran podido realizar respecto a este estudio.

Respecto a las mejoras, respecto las actividades que se realizan en cada muelle y su operatividad se hubiera podido hacer un estudio más preciso de para cada muelle exactamente cuántas horas en total está inoperativo.

Por otro lado, respecto al trabajo realizado con la distribución de Weibull también se hubieran podido haber calculado con otras distribuciones y comparar los resultados pero se ha utilizado la distribución de Weibull ya que para el estudio de puertos es muy utilizada.

Finalmente en cuanto a trabajo futuro, una de las cosas interesantes de hacer es estudiar a parte de las horas en que el puerto se mantiene inoperativo el gasto económico que esto supondría y buscar posibles alternativas aplicables en un futuro para poder minimizar estos costes.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Port de Tarragona. URL [www.porttarragona.cat/es/](http://www.porttarragona.cat/es/)

Memria Anual del Puerto de Tarragona 2015

CIIRC. Estat de la zona costanera a Catalunya., Barcelona, 2010

NOAA. Temperature change and carbón dioxid change, 2008.

URL <https://www.node.noaa.gov/paleo/globalwarming/temperature-change.html>.

Normas ROM 0.4-95, Puertos del Estado

Genius A. Impacte del canvi climàtic sobre l'agitació i l'operativitat del Port de Barcelona. Trabajo de Fin de Grado, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins Canals i Ports, Barcelona, 2016

Weisse R., and von Storch H. Marine climate and climate change. Storms, wind waves and storm surges. Springer, Praxis Publishing, Chichester, UK, 2010.

CMCC. "Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici"

Yi Zhyang, J., Estimating the economic losses of port disruption due to wind events., School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University., 2015.

Guimerá A., y Romero D., Puertos y sistemas portuarios (siglos XVI-XX), Madrid, 19-21 octubre, 1995.

Alemaný J., Blay J., y Roquer S., Port de Tarragona, Barcelona

Greenpeace., Evidencias del cambio climático en España., 2009., URL [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)